

功率器件

热仿真用 双热阻模型

本笔记对热仿真所使用的热模型之中，最简单的双热阻模型予以说明。这里所说的热仿真以 3 维模型热传导、热流体解析仿真工具作为对象。

热仿真用模型

热仿真用模型如 Figure 1 所示，分为简化热模型（CTM）和详细模型两种。

JEDEC 半导体技术协会将 CTM 分为如下 2 种规格的热模型。其中双热阻模型对应分立元件和 LSI，模型构成为封装以 PN 结为

分界点，分为上下两个部分。因为是结构简单的模型，最适用于分立元件等单功能元件。并且由于结构简单，仿真的解析速度也较快，只是精度是三种模型中最低的。DELPHI 模型也是对应 LSI，是一种多热阻网络型模型，特点是在各种各样的使用环境下均保持较小的误差。其元件数目较少，是解析速度和精度两方面较为平衡的热模型。缺点是不能对应瞬态热解析。

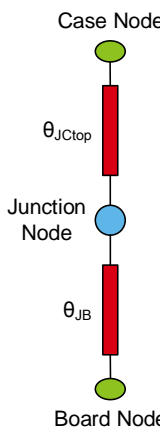
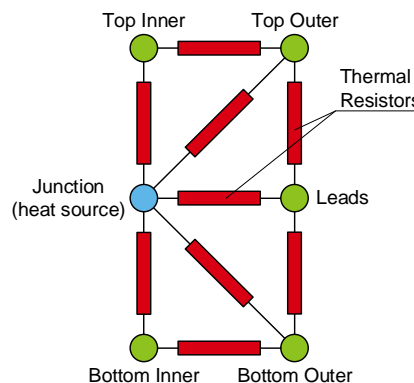
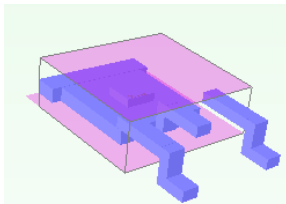
| 种类 | 简化热模型 (CTM) | | 详细模型 |
|----|--|--|--|
| | 双热阻模型 | DELPHI 模型 | |
| 规格 | JESD15-3 | JESD15-4 | 无 |
| 形状 |  |  |  |
| 概要 | <ul style="list-style-type: none"> 以 PN 结为分界点，分为上下两个部分的简化模型 最适用于分立元件等单功能元件 | <ul style="list-style-type: none"> 是一种多热阻网络模型 | <ul style="list-style-type: none"> 包含详细的尺寸、材料等特性值的详细模型 |
| 精度 | Good | Better | Best |
| 缺点 | <ul style="list-style-type: none"> 三种模型中精度最低 不能对应瞬态解析 | <ul style="list-style-type: none"> 不能对应瞬态解析 | <ul style="list-style-type: none"> 无通用规格，品质不稳定 仿真时间长 仿真工具之间无法兼容 |

Figure 1. 热仿真用模型

另一方面，第三种详细模型是一种无通用规格的模型，其品质由厂家的不同而不同。由于模型制作过程需要有详细的尺寸、材料等特性值，要获得这些情报通常需要签订保密协议(NDA)。这种详细模型的精度是最高的，但仿真所消耗的时间也是最长的。此外，由于没有通用的规格，热解析工具间没有兼容性。

双热阻模型的说明

双热阻模型的物理排列如 Figure 2 所示，是一种 3 节点的结构。封装中包含单一的集成电路，温度由单一的温度节点来表示。散热路径使用热阻网络来表示。接合部节点(Junction Node)表示芯片的热源、外壳节点(Case Node)表示封装的上表面，基板节点(Board Node)表示离元件端 1mm 处的基板温度。PN 结与外壳以及 PN 结与基板之间由两个热阻连接。这两个热阻的数值根据 JEDEC 标准的热测试生成。对于无法使用测量数值的情况，可通过对测试环境经过仿真验证的详细模型中抽取相应数值创建双热阻模型。从详细模型中抽取相应数据需要使用 Simcenter Flotherm™^{*1} 等 3 维热流体解析工具。

在 PN 接合部节点处产生发热功率。

外壳节点被看作与封装顶部环境（通常是空气或者与散热片一起使用的热传导材料）直接热接触。

基板节点被看作与封装焊盘下方的环境（通常是 PCB 基板）直接热接触。

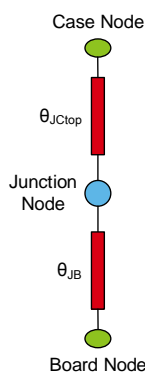


Figure 2. 双热阻模型的物理排列

热量从芯片的热源开始向两个方向流动。其中一个是由封装上表面向周围热辐射和热对流，还会向着封装上部所安装的散热片流动。另一个是从封装内侧和引线向 PCB 板流动。此外，这个模型不考虑从封装侧面向着周围的流体传导热量。

热电阻测试环境的概要

关于热电阻的测定方法， θ_{JB} 在 JEDEC 标准的 JESD51-8、 θ_{JC} 在 JESD51-14 有详细记载。这里仅说明这两种热电阻的测试环境的概要。详细请参考 JEDEC 标准。

θ_{JB} 的测试环境

θ_{JB} 的测试使用将 PN 接合部节点处所产生的热量向基板侧进行传导的测试环境。Figure 3 所示的是测试环境的概要图。环形散热盘使用流体（主要是水）来冷却。散热盘将基板两面夹住，使得热量从封装起在基板的内侧呈放射状流动。并且在散热盘的上部和下部的开口位置使用隔热材料，将其内部与周围环境温度进行隔离。基板的温度用热电偶来测定，测定点选用封装的其中一面的中心、且离外围 1mm 以内的位置。

对元件施加功率，测定其稳定状态的结温和基板温度。

θ_{JB} 根据算式(1)来计算。

$$\theta_{JB} = \frac{T_J - T_B}{P} \quad [^{\circ}\text{C}/\text{W}] \quad (1)$$

T_J : 被施加功率 P 的元件处于稳定状态时的接合部温度 [°C]

T_B : 稳定状态的基板温度 [°C]

P: 为了让接合部温度变化所消耗的功率 [W]

θ_{JC} 的测试环境

θ_{JC} 的测定原本如 MIL-STD-883E 所记载的那样，将产品与水冷铜散热片接触，用热电偶直接测定 PN 接合部和外壳表面的温度差来判断。由于热电偶测定外壳温度时容易出现错误，这样的测定结果往往不容易再现。这是因为封装外壳中可能有潜在的温度分布，热电偶与外壳的接触点可能不是最大外壳温度点。此外，由于热电偶和散热盘之间是不完全隔热，测得的温度有可能会比实际值低。

*1: Simcenter Flotherm™是 Siemens Industry Software Inc. 的商标。

JESD51-14 描述了不使用热电偶测定外壳温度的情况下大幅度提高 θ_{JC} 的测定再现性的方法。测试环境的概要图如 Figure 4 所示。散热盘用流体（主要是水）来冷却。测试对象元件固定在散热盘上，为了确保外壳表面和散热盘间有良好的热接触，在外壳上部施加了强度足够的压力。为了将向着元件上部的热量流动最小化，紧固元件需要用低热传导率的材料来隔热。

测定方面将需要监测元件接合部温度、测定 2 种瞬态热阻 $Z_{\theta_{JC}}$ 。这里说的 2 种瞬态热阻是指，元件和散热盘间不使用热界面剂 TIM（热传导润滑油或油脂、薄板等）的情况（Dry）和使用热界面剂（Wet）的情况。根据所测定的 2 种瞬态热电阻的分歧点来求得 θ_{JC} 。

使用时的考虑事项

由于双热阻模型是在 JEDEC 标准环境下测得的热阻，在其他环境中实行温度预测的话可能会出现误差，在使用时需明确这一点。 θ_{JB} 和 θ_{JC} 可在基板级别的热仿真模型中作为热性能的指标来使用。对于基板级别的仿真情报该如何使用、以及结果的精度这两点，其他环境的模型化误差或离散化误差、不同的仿真软件等因素都会对这两点造成差异。由于 θ_{JB} 和 θ_{JC} 是主要的性能指标，基板级别的仿真结果的精度会比由详细模型得到的精度低。为预测温度的绝对值而使用双热阻模型的时候需要注意这一点。设计初期在大致决定基板尺寸和部品配置等等的时候，需要明确不同封装的这些相对差别。

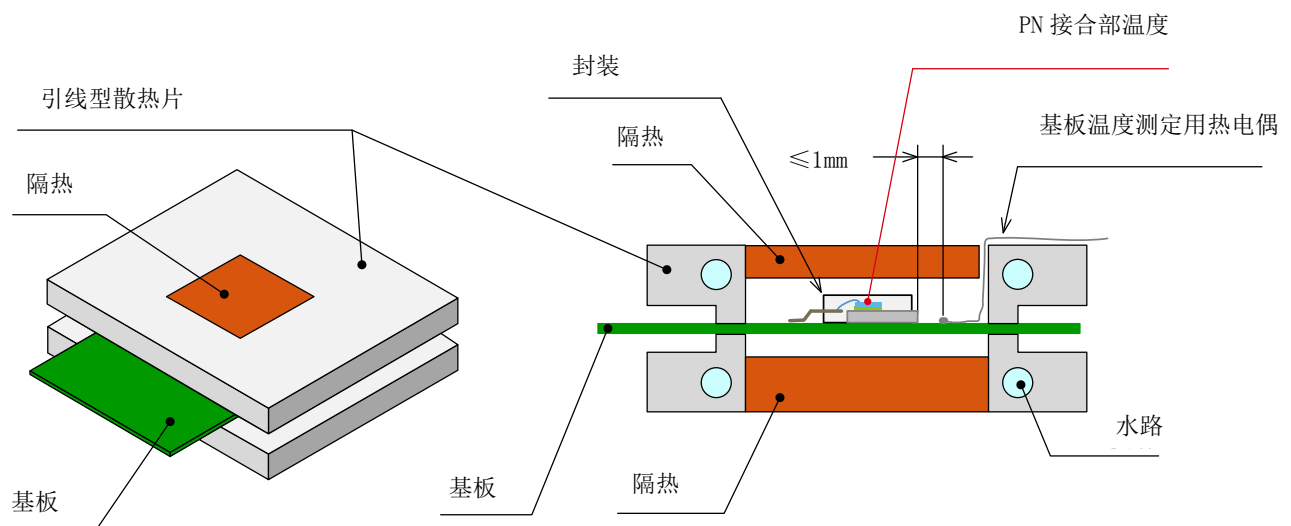


Figure 3. θ_{JB} 测试环境概要图
左：俯瞰图、右：测试治具断面图

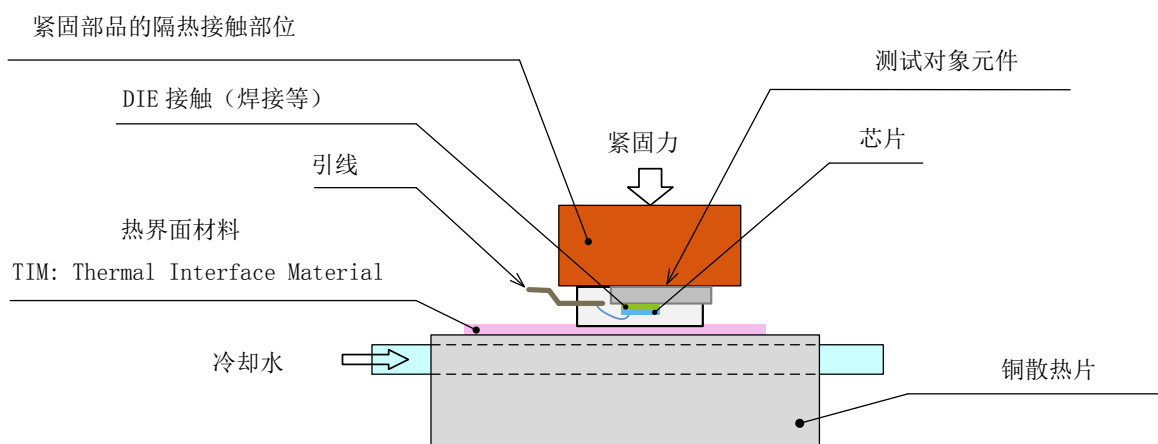


Figure 4. θ_{JC} 测试环境概要图

参考资料

- [1] JESD51:1995, *Methodology for the Thermal Measurement of Component Packages (Single Semiconductor Devices)*
- [2] JESD51-1:1995, *Integrated Circuit Thermal Measurement Method – Electrical Test Method*
- [3] JESD51-3:1996, *Low Effective Thermal Conductivity Test Board for Leaded Surface Mount Packages*
- [4] JESD51-8:1999, *Integrated Circuit Thermal Test Method Environmental Conditions – Junction-to-Board*
- [5] JESD51-12.01:2012, *Guidelines for Reporting and Using Electronic Package Thermal Information*
- [6] JESD51-14:2010, *Transient Dual Interface Test Method for the Measurement of the Thermal Resistance Junction to Case of Semiconductor Devices with Heat Flow Through a Single Path*
- [7] JESD15-1:2008, *Compact Thermal Modeling Overview*
- [8] JESD15-3:2008, *Two-Resistor Compact Thermal Model Guideline*
- [9] MIL-STD-883E, METHOD 1012.1, *Thermal Characteristics*, 4 November 1980

Notes

- 1) The information contained herein is subject to change without notice.
- 2) Before you use our Products, please contact our sales representative and verify the latest specifications :
- 3) Although ROHM is continuously working to improve product reliability and quality, semiconductors can break down and malfunction due to various factors.
Therefore, in order to prevent personal injury or fire arising from failure, please take safety measures such as complying with the derating characteristics, implementing redundant and fire prevention designs, and utilizing backups and fail-safe procedures. ROHM shall have no responsibility for any damages arising out of the use of our Products beyond the rating specified by ROHM.
- 4) Examples of application circuits, circuit constants and any other information contained herein are provided only to illustrate the standard usage and operations of the Products. The peripheral conditions must be taken into account when designing circuits for mass production.
- 5) The technical information specified herein is intended only to show the typical functions of and examples of application circuits for the Products. ROHM does not grant you, explicitly or implicitly, any license to use or exercise intellectual property or other rights held by ROHM or any other parties. ROHM shall have no responsibility whatsoever for any dispute arising out of the use of such technical information.
- 6) The Products specified in this document are not designed to be radiation tolerant.
- 7) For use of our Products in applications requiring a high degree of reliability (as exemplified below), please contact and consult with a ROHM representative : transportation equipment (i.e. cars, ships, trains), primary communication equipment, traffic lights, fire/crime prevention, safety equipment, medical systems, servers, solar cells, and power transmission systems.
- 8) Do not use our Products in applications requiring extremely high reliability, such as aerospace equipment, nuclear power control systems, and submarine repeaters.
- 9) ROHM shall have no responsibility for any damages or injury arising from non-compliance with the recommended usage conditions and specifications contained herein.
- 10) ROHM has used reasonable care to ensure the accuracy of the information contained in this document. However, ROHM does not warrants that such information is error-free, and ROHM shall have no responsibility for any damages arising from any inaccuracy or misprint of such information.
- 11) Please use the Products in accordance with any applicable environmental laws and regulations, such as the RoHS Directive. For more details, including RoHS compatibility, please contact a ROHM sales office. ROHM shall have no responsibility for any damages or losses resulting non-compliance with any applicable laws or regulations.
- 12) When providing our Products and technologies contained in this document to other countries, you must abide by the procedures and provisions stipulated in all applicable export laws and regulations, including without limitation the US Export Administration Regulations and the Foreign Exchange and Foreign Trade Act.
- 13) This document, in part or in whole, may not be reprinted or reproduced without prior consent of ROHM.



Thank you for your accessing to ROHM product informations.
More detail product informations and catalogs are available, please contact us.

ROHM Customer Support System

<http://www.rohm.com/contact/>